

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-131028

(43)Date of publication of application : 08.05.2003

(51)Int.Cl. G02B 5/28
G02B 3/00
G02B 6/12

(21)Application number : 2001-402456 (71)Applicant : AUTOCLONING
TECHNOLOGY:KK

(22)Date of filing : 05.12.2001 (72)Inventor : KAWAKAMI SHOJIRO
SATO TAKASHI

(30)Priority

Priority number : 2001282367 Priority date : 14.08.2001 Priority country : JP

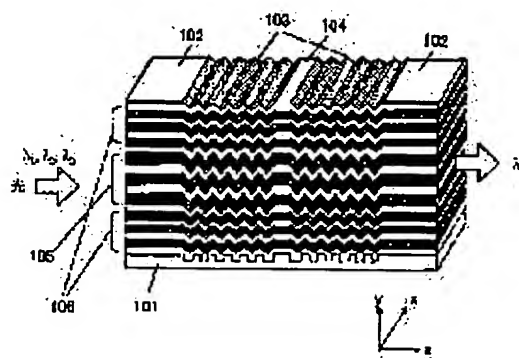
(54) OPTICAL CIRCUIT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a structure and a preparation method for realizing a wide band distribution Bragg reflection mirror, an optical resonator and a waveguide corner utilizing it, and a plane lens by giving refraction index distribution in a plane in a planar optical circuit.

SOLUTION: Groove arrays having straight lines, folded curves and curvatures are processed on a board, an alternate multi-layer film of a refraction index- different material is laminated by a deposition method partially including sputter etching, and a two-dimensional periodic structure reflecting a surface irregular shape is formed.

On the reflection mirror, the grooves are vertically arranged to a propagation direction of light, and intervals satisfies a Bragg condition. The plane lens has a distribution refraction index lens in which an equivalent refraction index gradually changes by using a propagation area and a structure patterning an area different in the refraction index from a circumference projection-shaped or recess-shaped. Since enclosed effect of a thickness direction can be shared by a function



BEST AVAILABLE COPY

part and the circumference, it does not have radiation loss in a boundary.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 06.12.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-131028

(P2003-131028A)

(43) 公開日 平成15年5月8日 (2003.5.8)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)	
G 0 2 B	5/28	G 0 2 B	5/28	2 H 0 4 7
	3/00		3/00	Z 2 H 0 4 8
	6/12		6/12	Z
				N
				F

審査請求 未請求 請求項の数11 書面 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2001-402456(P2001-402456)

(22) 出願日 平成13年12月5日 (2001.12.5)

(31) 優先権主張番号 特願2001-282367(P2001-282367)

(32) 優先日 平成13年8月14日 (2001.8.14)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 599042599
有限会社オートクロニング・テクノロジー
宮城県仙台市若林区新寺3-5-12-1104

(72) 発明者 川上 彰二郎
宮城県仙台市若林区土樋236番地 愛宕橋
マンションファラオC-09

(72) 発明者 佐藤 尚
宮城県仙台市太白区富沢南1-2-5 ポ
ナール富沢302

最終頁に続く

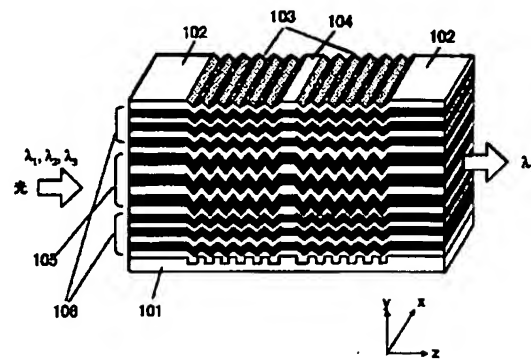
(54) 【発明の名称】 光回路

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 平面型光回路に広帯域分布ブラッグ反射ミラーとそれを利用した光共振器や導波路コーナー、および面内に屈折率分布を与えることによる平面レンズを容易に実現する構造と作成方法を提供。

【解決手段】 直線、あるいは折れ曲りや曲率のある溝列を基板に加工し、屈折率の異なる材料の交互多層膜をスパッタエッチングを一部に含む堆積方法で積層し、表面凹凸形状を反映した2次元的な周期構造を形成する。反射ミラーとしては、溝を光の伝搬方向に対し垂直に並べ、間隔はブラッグ条件を満たすようにする。平面レンズとしては、伝搬域を使い、等価屈折率が徐々に変化する分布屈折率レンズや、周囲と屈折率の異なる領域を凸形あるいは凹形にパターン化した構造をもつ。

【効果】 機能部分と周囲とで厚さ方向の閉じ込め効果を共通にできるので、境界における放射損失はない。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 直交座標系 x 、 y 、 z において、 xz 面に平行な基板の上に2種以上の透明材料を y 方向に交互に積層した多層構造体であって、 xz 面内において複数の領域にわかれ、少なくとも一つの領域において各層が領域ごとに定まる軸方位および周期長をもつ2次元または1次元周期的な凹凸形状を有しており、各領域において光が xz 面内で伝搬あるいはエバネッセント波となり且つ y 方向の閉じ込め効果が共通であることを特徴とする光回路

【請求項2】 請求項1における各領域を特徴づける xz 面内の周期の軸方位または周期長またはその両方が領域の境界において空間的に徐々に変化している部分を少なくとも一つ有することを特徴とする光回路

【請求項3】 直交座標系 x 、 y 、 z において、 xz 面に平行な基板の上に2種以上の透明材料を y 方向に交互に積層した多層構造体であって、各層が面内に2次元周期的または1次元周期的な凹凸形状を有して光がエバネッセント波となる面内の領域と、光が導波される面内の領域とを有し、光の y 方向への閉じ込め効果が導波領域とエバネッセント波領域とで共通であることを特徴とする光回路

【請求項4】 請求項1または請求項2または請求項3において、 Si または TiO_2 または Ta_2O_5 または Nb_2O_5 を主成分とする高屈折率材料と SiO_2 を主成分とする低屈折率材料を使うことを特徴とする光回路

【請求項5】 請求項1または請求項2または請求項3または請求項4の光回路において、二つ以上のエバネッセント波領域と一つ以上の導波領域を有することを特徴とする光共振器

【請求項6】 請求項5の光共振器を複数有することを特徴とする光波長選択フィルタ

【請求項7】 請求項1または請求項2または請求項3または請求項4の光回路において、エバネッセント波領域が反射鏡となり、それに二つの導波路部分が斜めに隣接するよう配置することにより光路を折り曲げることを特徴とする導波路コーナー

【請求項8】 直交座標系 x 、 y 、 z において、 xz 面に平行な基板の上に2種以上の透明材料を y 方向に交互に積層した多層構造体であって、光が xz 面内に導波される複数の面内の領域を有し、領域のうち少なくとも一つにおいては各層が面内に2次元周期的または1次元周期的な凹凸形状を有し、異なる導波領域の間で光の y 方向の閉じ込め効果が共通であることを特徴とする光回路

【請求項9】 請求項1または請求項2または請求項8の光回路において、 z 方向に有限の長さの x 方向に周期的に並んだ凹凸形状を有し、その周期が x の値とともに徐々に変化する一つの領域とそれに隣接する別の領域との間で、面内に伝搬する光に対し集光あるいは拡散作用を有することを特徴とする平面レンズ

【請求項10】 請求項1または請求項2または請求項8の光回路において、 xz 面内に溝列を有し、 $x=0$ では z 軸に垂直で、 z 軸から離れるに z 軸に対し斜めになるように、溝の方向が徐々に変化する一つの領域とそれに隣接する別の領域との間で、面内に伝搬する光に対し集光あるいは拡散作用を有することを特徴とする平面レンズ

【請求項11】 請求項1または請求項2または請求項8の光回路において、領域の一つと、それと異なる導波作用をもつ隣接する領域との境界が曲線をなすことによって、面内に伝搬する光に対し集光あるいは拡散作用を有することを特徴とする平面レンズ

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光平面回路に容易に形成することのできる広帯域分布ブラッグ反射ミラーとそれを利用した光共振器、および面内に屈折率分布を与えることによる平面レンズに関するものである。

【0002】

【従来の技術】平面型光回路において分布ブラッグミラーは様々な応用が考えられる重要な技術である。これまでに実現されているものは主に以下の2つである。

【0003】一つは、現在よく知られているファイバグレーティングと同様に、石英ガラスに紫外線を照射することにより屈折率が変化する現象を利用したものである。即ち、紫外線を光導波路のコアに周期的な強弱をもたせて照射することによって、コアの屈折率を周期的に変化させ、ブラッグ反射させるものである。しかしながら、この方法では屈折率の変化は $10^{-4} \sim 10^{-5}$ のオーダーと小さい（奥出聡、和田朗、"ファイバグレーティング技術とその動向、"電子情報通信学会論文誌C, vol. J83-C, no. 12, pp. 1060-1068, 2000年12月）。反射される光の波長範囲は屈折率変化の振幅に依存するので、反射される波長範囲 $\Delta\lambda/\lambda$ は0.1%以下にすぎない。このグレーティングは、ある特定波長のみを選択的に反射させて分離する目的には有効であるが、広い波長範囲で動作させることができない、環境による屈折率変化に対し極めて敏感であり使い難いなどの問題があり、応用が限られている。

【0004】もう一つの例は、コアに2次元周期構造を加工する方法（2次元フォトリソニック結晶）である（H. Benisty, C. Weisbuch, D. Labilloy, M. Rattier, C. J. M. Smith, T. F. Krauss, R. M. De La Rue, R. Houdre, U. Oesterle, C. Jouanin, and D. Cassagne, "Optical and confinement properties of two-dimensional photonic crystals," Journ

al of Lightwave Technology, vol. 17, no. 11, pp. 2063-2077, November 1999)。この構造では、ミラー部分とキャビティ部分で基板垂直方向の閉じ込め構造が大きく異なるので、電磁界分布の不整合があり、大きな損失が避けられない。これでは実用的なミラーを実現するのは不可能である。以上のように、実用的で広帯域な平面光回路に形成することのできる分布ブラッグ反射ミラーは作られていなかった。

【0005】また、平面型光回路上に形成する平面レンズも、多様な光回路を構築するためには重要な構成要素である。これまでに検討されてきた平面レンズは、主に LiNbO_3 導波路を基に Ti 拡散やプロトン交換によって屈折率変化を与えるものである。しかしこの方法では、面内の屈折率分布を制御性よく変化させることが難しい、屈折率の変化量が大きくとも0.1程度であること、などから平面レンズの性能は制限されていた（「光・薄膜技術マニュアル」、オプトロニクス社、pp. 282-287、平成元年）。例えば、屈折率分布を2乗分布にした分布屈折率レンズは難しかった。また屈折率変化量が小さいと、焦点距離が大きくなり、回路の集積化には適さなかった。さらに上記の方法で屈折率を変化させた領域では、基板垂直方向の電磁界の閉じ込め構造が周囲と異なるため、境界部分で界の不整合がおこり放射損失が避けられなかった。

【0006】

【発明が解決しようとする課題、課題を解決する手段】
本発明は、自己クローニング法と呼ばれる多次元周期構造の作製技術をもとに、平面光導波路に様々は周期構造の領域を形成し、帯域の広い分布ブラッグミラーおよびレンズなどの光機能素子を実現するものである。特に、ミラーやレンズを形成した領域と周囲とで基板垂直方向の電磁界分布を共通に与えることができるため、接合部で波の放射損失を抑えることが可能である。これは積層構造をとる自己クローニング型フォトニック結晶の特徴を利用していることによる。

【0007】はじめに自己クローニング法について説明する。自己クローニング法とは、バイアス・スパッタリング法に代表されるような堆積粒子の拡散入射とスパッタエッチングを併用した成膜法において、その堆積作用とエッチング作用を相互に制御することにより、表面の凹凸形状を繰り返しつつ層状に積層させることで、多次元周期構造を作製する方法である。この方法は位置合わせなしの逐次成膜で周期構造を作製することができるため、信頼性や再現性が高く、材料や構造に対する自由度が高いことが特徴であり、フォトニック結晶の工業化に適した作製方法である。このメカニズムは次の3つの効果、(1)堆積粒子の拡散入射により影となる凹部の堆積速度が遅くなる効果、(2)スパッタエッチングによる傾斜角約50度から60度の面においてエッチング速

度が最大となる効果、(3)面にスパッタエッチングにより削られた粒子が基板の別の場所に再付着する効果、の適切な割合での重ねあわせである（川上彰二郎、佐藤尚、川嶋貴之、「バイアススパッタ法で作製される3D周期ナノ構造の形成機構」、電子情報通信学会誌C-1, vol. J81-C-1, no. 2, pp. 108-109, 1998年2月）。

【0008】またこのフォトニック結晶の一つの形態として、格子変調フォトニック結晶が提案されている。即ち、周期構造の格子定数あるいは方位を徐々にあるいはステップ状に変化させることにより、等価的な屈折率を制御することができる（「格子変調フォトニック結晶」、特許公開2001-91701）。この概念を導波路に適用することができる。即ち、コアとなる領域に等価屈折率が大きくなるように、格子定数や格子方位を変えてやることで実現できる。例えばスラブ導波路においては、下部および上部クラッド部において積層周期を相対的に小さく（大きく）し、コア部では相対的に大きく（小さく）して積層することにより、凹凸を保ったまま積層が可能となる。面内の幅方向の閉じ込めのためには、基板上の凹凸パターンに格子定数あるいは格子方位を幅方向に予め変調しておけばよく、これらを合わせることでそれぞれ図18、図10に示すチャネル型導波路を構成することができる。尚、上部と下部クラッドは、平均屈折率がコアの平均屈折率より小さくなればよいので、高屈折率材料の充填率を小さくすることでも、適当な媒質にすることでも同様の閉じ込め効果を与えることができる。この導波路は、従来のバンドギャップ閉じこめ型のフォトニック結晶導波路（納富雅也、山田浩治、新家昭彦、高橋淳一、高橋千春、横浜至、「幅変化型単一線欠陥SOIフォトニック結晶導波路における単一モード光伝搬」、応用物理学会 春季全国大会30a-YK-4, p. 1061, 2001年3月）よりも、結合損失や伝搬損失を低減でき、工業的に有利な導波路である。

【0009】次に分布ブラッグミラーについて説明する。図2のような2次元自己クローニング法フォトニック結晶のx方向に伝搬する際の分散関係（バンド図）を図3、図4に示す。それぞれ材料の組み合わせが Si/SiO_2 と $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$ に対してである。（この他、透明材料として Si 、 TiO_2 、 Ta_2O_5 、 Nb_2O_5 、 SiO_2 などを使うことができる。）膜形状の凹凸によりブラッグ条件がなりたつ波長域では、指数関数的に減衰する波となり、反射される。主たる伝搬方向であるzとともに指数的に減衰する波をエバネッセント波という。なお導波域においても波は閉じ込め作用によりクラッド中では横（y）方向に指数的に減衰するが、本明細書中では特に断らない限りエバネッセント波は主たる伝搬方向にエバネッセントな波を意味する。図3、4に戻り、前者ではTE波で $L_z/\lambda = 0.37$ 付

近で $\Delta\lambda/\lambda=10\%$ の遮断域、TM波で $L_z/\lambda=0.50$ 付近で $\Delta\lambda/\lambda=10\%$ の遮断域が、後者は $L_z/\lambda=0.52$ 付近で $\Delta\lambda/\lambda=5\%$ 程度の遮断域（バンドギャップ）が見られる。したがって、遮断波長幅の中心波長に対する比が数%以上の反射ミラーを構成することは容易である。このように、前述

【0003】の紫外線照射による屈折率変化やクラッドに凹凸パターンを形成する方法に比べて、極めて広い波長範囲で動作する反射ミラーを実現できることがわかる。分布ブラッグミラー部分においても、導波領域においても、厚さ方向の積層の構造は共通であるから波の厚さ方向の界分布は共通である。従って分布ブラッグミラー、導波路部分、レンズ部分（後述）などの境界部分においてもモード不整合は生じないので、低損失特性が保証される（横方向への放射が生じない）。なお、エバネッセント波を生ずるためには xz 面内の周期的凹凸は不可欠であるが、導波領域においては設計目的のいかんによっては周期的凹凸を持ってもよく、持たなくても良い。分散性を利用するためには通常凹凸を要し、共振器の結合用には凹凸は不可欠ではない。

【0010】さらに従来の自己クローニングのプロセスに反応性イオンエッチングを導入すると、選択的および等方的なエッチングの効果による整形を行えるので、図5のように、より急峻な斜面を形成すること、充填率を周期的に変化させることができる。図6は、図5の構造において高屈折率材料をSiとした場合、光が x 方向に伝搬する際のバンド構造を表す。 $L_z/\lambda=0.18$ 付近で $\Delta\lambda/\lambda=22\%$ のギャップが形成されており、反射ミラーの動作波長を拡大に有効であることがわかる。ここでは簡単のため、面内には1次元周期構造について述べたが、図19に示すような面内に2次元周期的なパターン（積層方向の周期性を加えると3次元周期的な構造）を形成しても同様の特性が得られる。面内パターンは三角格子、正方格子でも良い。本フォトニック結晶型反射ミラーを平面型光導波路に形成する場合、予め基板に凹凸パターンを形成するだけでよい。従って、パターンの配列方向、ピッチ、周期数は任意に設定することができ、自由なパターンを形成することが容易である。

【0011】また図18や図10に示す格子変調導波路を当該反射ミラーや光共振器と組み合わせることで、各種機能デバイスを光回路に集積化することが容易である。例えば、このエバネッセント波を使ったミラーの利用形態として、光共振器への利用と伝搬方向の変換に利用することができる。即ち、二つのミラーの間に、周期が異なる（エバネッセントでなく伝搬領域にある）凹凸形状もしくは平坦部からなるキャビティを配置することで共振器を構成することができる。それぞれの概念図を図20および図1に示す。また、ミラーに対し斜めに光を入射させることにより、伝搬方向の変換が可能である。折れ曲りのある導波路や、次に示す平面レンズを使

うなど、面内を伝搬する光に対して適用することができる。

【0012】次に自己クローニング法によるフォトニック結晶で形成できる平面レンズを説明する。図2に示すフォトニック結晶の z 方向の周期と y 方向の積層周期の比（ L_z/L_y ）と、 x 方向に伝搬する光に対する等価屈折率の関係を図7および図8に示す。材料はそれぞれSi/SiO₂とTa₂O₅/SiO₂に対してである。計算は、FDTD法により x 方向の伝搬に対する分散関係を計算し、等価屈折率を求めた。屈折率変化はSi/SiO₂系では0.3程度、Ta₂O₅/SiO₂系では0.1程度が得られる。2次元フォトニック結晶を描くパターンは任意に決められるので、凹面もしくは凸面形状で等価屈折率の異なる領域を形成することができ、面内レンズへの利用が可能である。また格子定数は高精度に変化させることは可能であるので、屈折率の制御性が高く、分布屈折率型レンズの実現も可能である。先に示したように、レンズ部分と周囲とで積層方向の電磁界の閉じ込め作用は同じであるので、境界における不整合による放射損失は小さい。なお積層方向の波の閉じ込め作用は、

【0008】で述べたのと同じく積層周期の変調を利用して実現できる。フォトニック結晶型レンズを平面光導波路に形成する場合、予め基板に凹凸パターンを形成するだけでよい。また、面内レンズを光回路に集積化することが容易である。なお、スラブ導波路とチャネル導波路について付言する。共振器や波長フィルタにおいては図11や図23のように面内の横幅を制限したチャネル導波路が、導波路レンズにおいては図16のような面内横幅を制限しないスラブ導波路が主に用いられる。本発明の思想はチャネル導波路にもスラブ導波路にも同等に当てはまる。

【0013】

【実施例】

【実施例1】実施例1はフォトニック結晶ミラーを利用した共振器の一応用例である。その概念図を図1に示す。作製方法は次の通りである。まず、SiO₂基板の表面に電子ビーム露光法によるフォトリソグラフィとドライエッチング法により微細加工を行なった。ここで基板材料は限定されるものではなく、他の誘電体、ガラス、半導体でもよい。そのパターンは図9に示すように、 x 軸方向に平行な溝を z 方向に周期的に6本配置し、わずかな平らな部分を設けた後、さらに溝列を6本形成してある。このときの溝の周期は0.80 μm であり、中間の平らな部分の長さは1.36 μm であった。なお、共振周波数を定める二つの周期構造の「中間の部分」をより短くする事も可能である（例えばいわゆる1/4波長シフト形）。中間の部分としてははっきりした導波部分から、「周期構造の周期の乱れ」までが含まれる。つぎにバイアススパッタ装置を用いて、Ta₂O₅。

と SiO_2 の交互多層膜を、前述した自己クローニング法により積層した。下部クラッドは周期が650nmで8周期、コアは周期が720nmで5周期、上部クラッドは周期が650nmで8周期であった。 Ta_2O_5 層と SiO_2 層の厚さの割合は共に1:1である。また成膜条件は、 SiO_2 の成膜に対してはArガス圧6mTorr、ターゲット高周波電力800W、基板高周波電力80W、 Ta_2O_5 の成膜に対し、Arガス圧1mTorr、ターゲット高周波電力400Wであった。ただし、成膜条件はスパッタ装置に依存するため、唯一のものではない。

【0014】コアとなる多層膜部分に光を入射したところ、波長1.49 μm から1.54 μm が遮断域となり、波長1.52 μm で共振による透過ピーク波長が見られた。このときの半値全幅は10nmであった。z方向に波が伝搬域にある空間と波が遮断域にある空間的領域とで横(x, y)方向の界分布が共通である。故に接合部で波のx, y方向への放射がない。尚、ミラー部分の周期数、キャビティ長、複合共振器の構成を選ぶことにより、透過波長、半値幅、透過域の平坦性や遮断域の急峻さなどの共振器の特性を制御することができる。自己クローニング法はスパッタリングできるということ以外に、材料に対する制限はないため、 Ta_2O_5 、 SiO_2 以外の材料、例えばa-Si:H、 TiO_2 、 Nb_2O_5 などを用いても可能である。また Ta_2O_5 は可視域でも透明であるため、今回の光通信波長1.55 μm 帯だけでなく、0.8 μm 帯や可視域にも、構造を縮小するだけで適用できる。

【0015】

【実施例2】実施例2はフォトニック結晶ミラーを利用した共振器のもうひとつの形態である。即ち、図10に示す格子方位変調チャネル導波路と図23に示す共振器とを接続した構造である。作製方法を示す。まず、 SiO_2 基板の表面に電子ビーム露光法によるフォトリソグラフィとドライエッチング法により微細加工を行なった。そのパターンは図11に示すように、一本の溝は、x軸方向に平行な部分とその両側に折れ曲りをもつ。z方向の周期は導波路部分とミラー部分で異なっている。具体的な寸法は以下の通りである。x軸に平行な長さは4 μm 、折れ曲り角度は15°、導波路部分およびキャビティにおけるz方向周期は0.46 μm 、エバネッセント領域(ミラー部分)の周期は0.57 μm であった。つぎにバイアススパッタ装置を用いて、Siと SiO_2 の交互多層膜を、前述した自己クローニング法により積層した。下部クラッドとして、厚さ140nmのSi層と厚さ330nmの SiO_2 層を10周期積層した。次にコアとして、厚さ156nmのSi層と厚さ364nmの SiO_2 層を6周期積層し、最後に上部クラッドとして下部クラッドと同じ厚さの多層膜を積層した。積層の条件はクラッドとコアで共通であり、 SiO_2 の

成膜に対してはArガス圧5mTorr、ターゲット高周波電力600W、基板高周波電力70W、Siの成膜に対してはArガス圧2mTorr、ターゲット高周波電力500Wであった。

【0016】積層周期が厚く、溝がx軸に平行な部分がコアとなる。コア部分に光を入射すると、出射側で伝搬光が観察できた。波長1.45 μm から1.6 μm までが遮断波長領域となるが、波長1.53 μm では共振のため透過ピークが見られた。ミラー部分の周期数、キャビティ長、複合共振器の構成を選ぶことにより、透過波長、半値幅、透過域の平坦性や遮断域の急峻さなどの共振器の特性を制御することができるのは同様である。また、自己クローニング法はスパッタリングできるということ以外に、材料に対する制限はないため、Si、 SiO_2 以外の材料、例えば TiO_2 、 Ta_2O_5 、 Nb_2O_5 などを用いても可能である。また Ta_2O_5 などは可視域でも透明であるため、今回の光通信波長1.55 μm 帯だけでなく、0.8 μm 帯や可視域にも、構造を縮小するだけで適用できる。

【0017】

【実施例3】実施例3はフォトニック結晶ミラーと方位変調チャネル導波路を組み合わせた共振器のもう一つの形態である。 SiO_2 基板の表面に電子ビーム露光法によるフォトリソグラフィとドライエッチング法により微細加工を行なった。それぞれの溝はx軸方向に平行な部分とその両側に折れ曲りをもつ。図24は、x軸に平行な部分のみのパターンを描いたものである。z方向の周期は導波路部分、ミラー部分、キャビティ部分、でそれぞれ異なっている。また導波路とミラー部分では周期長が異なるが、その境界では遷移領域を介し周期が連続的に変化している。具体的な寸法は以下の通りである。導波路部分およびキャビティにおけるz方向周期は0.46 μm 、エバネッセント領域(ミラー部分)の周期は0.57 μm である。尚、x軸に平行な長さは4 μm 、折れ曲り角度は15°である。同様に本基板の上に、バイアススパッタ装置を用いてSiと SiO_2 の交互多層膜を、前述した自己クローニング法により積層した。下部クラッドとして、厚さ140nmのSi層と厚さ330nmの SiO_2 層を10周期積層した。次にコアとして、厚さ156nmのSi層と厚さ364nmの SiO_2 層を6周期積層し、最後に上部クラッドとして下部クラッドと同じ厚さの多層膜を積層した。周期を連続的に変えた遷移領域は、導波路からエバネッセント領域に光が入射、出射する際の反射防止となる。エバネッセント領域とキャビティの間も同様に周期を連続的に変化させてもよい。

【0018】

【実施例4】実施例4はフォトニック結晶ミラーを利用した光共振器を格子定数変調チャネル型導波路に組みこんだ利用形態である。図21に模式的な構成図を示す。

この構造の利点は次の通りである。ミラー部にはブラッグ反射を利用するため波の進行方向と直角な溝列を設ける。一方、導波路は光の損失を極小に保ちつつ共振器から次の機能ユニットに光を伝えることが役割であるから光の進行方向を横切る溝列を設けず、構造不完全などによる散乱損失を極力小さくするのが有利である。このように、ブラッグ反射部と導波路部は溝列の方向が90度異なっているのが有利である。作製方法を次に示す。まず、 SiO_2 基板の表面に電子ビーム露光法によるフォトリソグラフィとドライエッチング法により微細加工を行なった。そのパターンは図22に示す。チャネル型導波路は伝搬方向に平行な溝列からなり、コア部分はピッチが短く、クラッドはピッチが長い。等価的な屈折率は前者が大きく、後者は小さい。共振器部分は、伝搬方向に垂直な溝列からなり、ミラー部分はピッチが長く、キャビティ部分はピッチが短い。前者は入射する波長に対し遮断域となり、後者は伝搬域にある。共振器内のクラッド領域は突起（もしくは孔）の2次元アレイとなる。ここで周期長は周囲と整合がとれ、横方向の光の閉じこめを行なうことが出来る。このように面内のパターンは、縦や横の1次元周期構造や正方格子（あるいは三角格子）2次元周期構造の領域があり、且つそれぞれの領域でピッチや方位は異なっている。これらの複数の領域を組み合わせたものとなる。つぎにバイアスバタ装置を用いて、 Si と SiO_2 の交互多層膜を、前述した自己クローニング法により積層した。下部クラッドとして、厚さ140nmの Si 層と厚さ330nmの SiO_2 層を10周期積層した。次にコアとして、厚さ156nmの Si 層と厚さ364nmの SiO_2 層を6周期積層し、最後に上部クラッドとして下部クラッド同じ厚さの多層膜を積層した。基板には様々な周期の凹凸パターンが形成されているが、同じ成膜条件で自己クローニングが実現できる。積層の条件はクラッドとコアでも共通である。例えば、 SiO_2 の成膜に対しては Ar ガス圧5mTorr、ターゲット高周波電力600W、基板高周波電力70W、 Si の成膜に対しては Ar ガス圧2mTorr、ターゲット高周波電力500Wであった。チャネル導波路部分の断面において、積層周期が厚く、面内ピッチが短い領域がコアとなる。入射端面のコア部分に光を入射すると、出射側の導波路から伝搬光が観察できた。波長1.45 μm から1.6 μm までが遮断波長領域となるが、波長1.53 μm では共振のため透過ピークが見られた。格子変調導波路は伝搬方向に平行な溝列からなるので、導波路を曲げることも容易である。またコーナーにミラーを使う急峻曲げ構造への適用も容易である。

【0019】

【実施例5】実施例5はフォトニック結晶の格子定数による屈折率変化を利用した面内レンズの形態である。図12上に模式的な構成図を示す。基板は SiO_2 。基板を

用いた。該基板は電子ビーム露光法によるフォトリソグラフィとドライエッチング法による微細加工を利用してパターンニングを行った。そのパターンは図12下に示すように、z軸方向に平行な溝列からなっており、x方向の周期は中心から外側に向かって連続的に短くなっている。具体的な寸法は以下の通りである。レンズの中心 $x=0$ における溝間隔は0.3 μm 、 $x=40\mu\text{m}$ における溝間隔は0.23 μm で、その間徐々に狭くなっている。これは等価屈折率が2乗分布となるように設計した分布屈折率形レンズである。つぎにバイアスバタ装置を用いて、 Ta_2O_5 と SiO_2 の交互多層膜を、前述した自己クローニング法により積層した。下部クラッドは周期が280nmで10周期、コアは周期が320nmで10周期、上部クラッドは周期が280nmで10周期であった。 Ta_2O_5 層と SiO_2 層の厚さの割合は共に1:1である。尚、クラッドは、コアの平均屈折率より小さな屈折率をもつ一様媒質にすることもできる。また成膜条件は、 SiO_2 の成膜に対しては Ar ガス圧6mTorr、ターゲット高周波電力800W、基板高周波電力80W、 Ta_2O_5 の成膜に対し、 Ar ガス圧2mTorr、ターゲット高周波電力400Wであった。スラブ導波路のコアである多層膜部分に光をz方向に入射した。上面からITVカメラで観察したところ、レンズ出射後は平行光となってスラブ導波路を伝搬した。4.5mm伝搬した出射端でのビーム幅は45 μm であった。この平面レンズは、屈折率変化が比較的小さい $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$ で有効である。屈折率の制御は溝の間隔で決まるので、高精度で決められる。

【0020】

【実施例6】実施例6はフォトニック結晶の格子定数による屈折率変化を利用した面内レンズの形態である。図13上に模式的な構成図を示す。基板は SiO_2 。基板を用いた。該基板は電子ビーム露光法によるフォトリソグラフィとドライエッチング法による微細加工を利用してパターンニングを行った。そのパターンは図13下に示すように、z軸方向に平行な溝列からなっており、x方向の周期は0.388 μm で一定であり、長さは中心から外側に向かってほぼ2次曲線的に短くなっている。具体的な寸法は以下の通りである。 $x=0$ における溝の長さは200 μm 、 $x=170\mu\text{m}$ における溝間隔は10 μm で、その間徐々に短くなっている。これは平面型の凸レンズとなる。つぎにバイアスバタ装置を用いて、 Si と SiO_2 の交互多層膜を、前述した自己クローニング法により積層した。積層構造はy方向に単一モードとなるように設計した。即ち、コアは周期が156nm（ Si の充填率は30%）で13周期、下部クラッドと上部クラッドは周期が150nm（ Si の充填率は28%）で20周期であった。また成膜条件は、 SiO_2 は Ar ガス圧4.5mTorr、ターゲット高周波電力600W、基板高周波電力60W、 Ta_2O_5 は Ar

ガス圧1mTorr、ターゲット高周波電力400Wであった。尚、クラッドは、コアの平均屈折率より小さな屈折率をもつ一様媒質にすることもできる。

【0021】スラブ導波路のコアである多層膜部分にTE波の光をz方向に入射した。上面からITVカメラで観察したところ、レンズ出射後は平行光となってスラブ導波路を伝搬した。4mm伝搬した出射端でのビーム幅は35μmであった。この平面レンズは、屈折率変化が大きいSi/SiO₂で有効である。位相変化量の制御は溝の長さで決まるので、高精度に決められる。TE波に対しては2次元周期構造の透過屈折率は平坦多層膜より小さいことが多いので、その場合、集光レンズを形成するには凸型ではなく図14に示すような凹型のパターンを形成することが必要になる。

【0022】

【実施例7】実施例7はフォトニック結晶の格子の方位変調による屈折率変化を利用した面内レンズの形態である。図15上に模式的な構成図を示す。基板はSiO₂基板を用いた。該基板は電子ビーム露光法によるフォトリソグラフィとドライエッチング法による微細加工を利用してパターンニングを行った。そのパターンは図15下に示すように、x軸方向に平行な溝列から徐々に緩やかにカーブしており、z方向の周期は一定である。具体的な寸法は以下の通りである。X=0においてはx軸に対する角度は0°、x=30μmにおいては30°となり、その間徐々に角度が大きくなっている。これは平面型の凸レンズとなる。つぎにバイアスバタ装置を用いて、Nb₂O₅とSiO₂の交互多層膜を、前述した自己クローニング法により積層した。積層構造はy方向に単一モードとなるように設計した。即ち、コアは周期が156nm(Nb₂O₅の充填率は40%)で20周期、下部クラッドと上部クラッドは周期が156nm(Nb₂O₅の充填率は37%)で20周期であった。また成膜条件は、SiO₂の成膜に対してはArガス圧6mTorr、ターゲット高周波電力800W、基板高周波電力80W、Nb₂O₅の成膜に対し、Arガス圧1mTorr、ターゲット高周波電力400Wであった。スラブ導波路のコアである多層膜部分にTE波の光をz方向に入射した。上面からITVカメラで観察したところ、レンズ出射後は平行光となってスラブ導波路を伝搬した。5mm伝搬した出射端でのビーム幅は40μmであった。このレンズでは、位相変化量の制御は溝の曲率で決まるので、高精度に決められる。

【0023】

【実施例8】実施例8はフォトニック結晶を用いた面内レンズの利用形態である。図16に模式的な構成図を示す。基板の端に実施例5および実施例6で説明した平面レンズを加工してある。基板の中央には、孔を正方格子状に加工した後、レンズを形成すると同時に多層膜を積層した構造がある。この領域は伝搬角度が入射角度に

敏感に依存する(高い分散性と異方性)ため、波長を空間的に分離するフィルタとして動作する。レンズを用いないで、このフィルタに光を入射すると、回折のためビームが広がってしまい波長分解能が上がらなくなり、また外部レンズで絞った光を入射すると、面内方向には角度成分をもつために、やはり波長分解能が上がらないという問題があった。平面レンズと組み合わせることで、平行ビームを伝搬させることができ、高分解能のフィルタを実現することができる。また光の入射位置をレンズの中心から面内でずらすことにより、レンズからの出射角度を変化させることができるので、フィルタ内の伝搬角度を制御することも可能となる。

【0024】

【実施例9】実施例9はフォトニック結晶反射ミラーを用いた導波路曲りの形態である。基板はSiO₂基板を用いて、電子ビーム露光法によるフォトリソグラフィとドライエッチング法による微細加工を利用してパターンニングを行った。そのパターンは図17に示すように、周期と方向の異なる溝列からなっている。具体的な寸法は以下の通りである。導波路となる部分は、周期は0.41μm、その周囲は周期が0.57μmである。つぎにバイアスバタ装置を用いて、SiとSiO₂の交互多層膜を、前述した自己クローニング法により積層した。積層構造はy方向に単一モードとなるように設計した。即ち、コアは周期が150nm(Siの充填率は30%)で13周期、下部クラッドと上部クラッドは周期が150nm(Siの充填率は27%)で20周期であった。またコアの幅は4μmであった。成膜条件は、SiO₂の成膜に対してはArガス圧6mTorr、ターゲット高周波電力800W、基板高周波電力80W、Siの成膜に対し、Arガス圧1mTorr、ターゲット高周波電力400Wであった。導波路1のコアである多層膜部分にTE波の光を図中の矢印の方向に入射した。フォトニック結晶ミラーで反射され、導波路2に結合し、出射された。出射端をITVカメラで観察したところ、導波光がスポットとして観測された。接合に近接する導波路部分やミラー部分では、面内方向の導波構造の乱れがあるため理想的無損失にすることは難しいが、導波路の横方向寸法が光の媒質内波長に比べて大きいので、光は光線的に伝搬し、光の回折に伴う放射波は十分小さい値に保つことができる。

【0025】

【発明の効果】本発明の構造からなる分布ブラッグ反射ミラーは、基板に平行な面内で伝搬する光に対して広帯域な遮断域をもつことを可能としたものであり、それを利用することにより透過光共振器を実現可能にする。また本発明の構造からなる面内レンズは、基板に平行な面内で伝搬する光に対して動作するレンズを形成することを可能としたものであり、面内光回路を実現可能にする。このような光素子は、波長選択フィルタや光回路の

小型化など工業的用途は広く、従来の光回路を置き換えることが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 フォトニック結晶ミラーを用いた光共振器の概念図

【図2】 2次元フォトニック結晶の概念図

【図3】 Si/SiO_2 フォトニック結晶のx方向の分散関係

【図4】 $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$ フォトニック結晶のx方向の分散関係

【図5】 膜厚変調をもつ Si/SiO_2 フォトニック結晶の概念図

【図6】 膜厚変調をもつ Si/SiO_2 フォトニック結晶のx方向の分散関係

【図7】 Si/SiO_2 フォトニック結晶のy方向伝搬の等価屈折率と格子定数比の関係

【図8】 $\text{Ta}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2$ フォトニック結晶のy方向伝搬の等価屈折率と格子定数比の関係

【図9】 光共振器の基板パターン図

【図10】 格子方位変調を用いたチャネル形導波路の概念図

【図11】 チャネル形導波路に構成される光共振器の基板パターン図

【図12】 分布屈折率形平面レンズの概念図と基板パターン図

【図13】 両凸平面レンズの概念図と基板パターン図

【図14】 両凹平面レンズの基板パターン図

【図15】 格子方位変調による等価屈折率変化を利用した平面レンズの概念図と基板パターン図

【図16】 平面レンズの利用形態を示す図

【図17】 フォトニック結晶ミラーを用いた導波路コーナーの基板パターンを示す図

【図18】 格子定数変調を用いたチャネル型導波路を示す図

【図19】 面内2次元パターンからなるフォトニック結晶ミラーを示す図

【図20】 光共振器の概念図

【図21】 格子定数変調チャネル型導波路と光共振器を組み合わせた光回路を示す図

【図22】 格子定数変調チャネル型導波路と組み合わせた光共振器の基板パターン図

【図23】 格子方位変調チャネル型導波路と組み合わせた光共振器の概念図

【図24】 格子方位変調チャネル型導波路と組み合わせた光共振器の基板パターン図

【符号の説明】

101: 基板

102: 導波領域

103: エバネッセント領域

104: キャビティ

105: コア

106: クラッド

201: 高屈折率材料

202: 低屈折率材料

501: 高屈折率材料

502: 低屈折率材料

901: 基板

902: 溝

903: キャビティ

10 1001: 基板

1002: 高屈折率材料

1003: 低屈折率材料

1004: コア

1101: 基板

1102: 溝

1103: 導波路

1104: ミラー

1105: キャビティ

1106: クラッド

20 1107: コア

1201: 基板

1202: 溝

1203: 多層膜

1204: 平面レンズ

1301: 基板

1302: 溝

1303: 多層膜

1304: 平面レンズ

1401: 基板

30 1402: 溝

1501: 基板

1502: 溝

1503: 多層膜

1601: 基板

1602: 分布屈折率形平面レンズ

1603: 両凸形平面レンズ

1604: スーパープリズム

1701: 基板

1702: 溝

40 1703: 導波路1

1704: 導波路2

1801: 基板

1802: 高屈折率材料

1803: 低屈折率材料

1804: コア

1901: 基板

1902: 高屈折率材料

1903: 低屈折率材料

2001: 基板

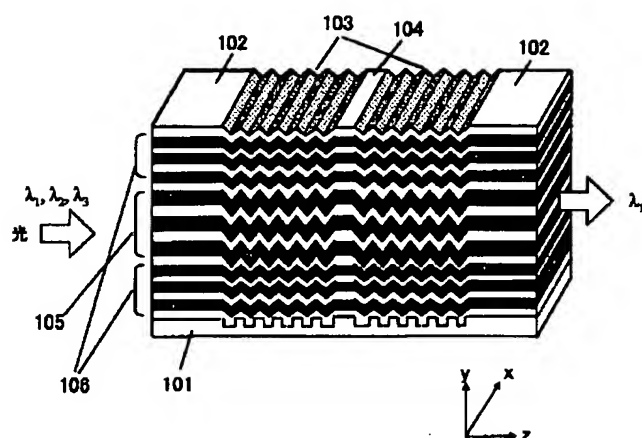
50 2002: 高屈折率材料

2003: 低屈折率材料
 2004: コア
 2005: クラッド
 2006: 導波領域
 2007: エバネッセント領域
 2008: キャビティ
 2101: 基板
 2102: コア
 2103: クラッド
 2104: 導波路
 2105: エバネッセント領域
 2106: キャビティ
 2201: 凸部分

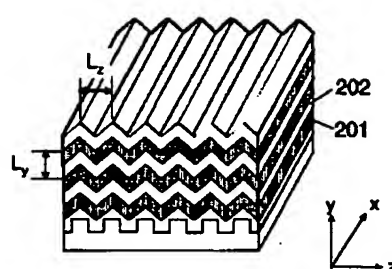
* 2202: 凹部分
 2203: コア
 2204: クラッド
 2205: 導波路
 2206: エバネッセント領域
 2207: キャビティ
 2301: 基板
 2302: 高屈折率材料
 2303: 低屈折率材料
 2304: コア
 2401: 基板
 2402: 凸部分
 * 2403: 凹部分

10

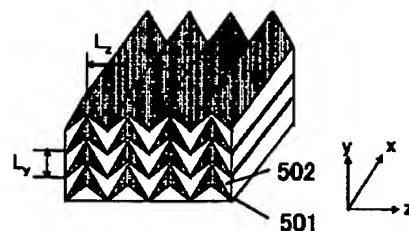
【図1】



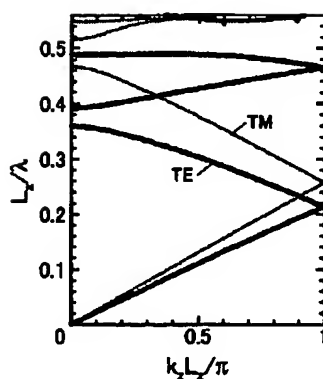
【図2】



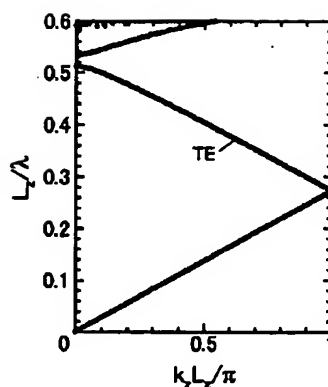
【図5】



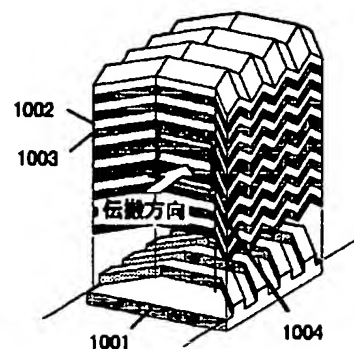
【図3】



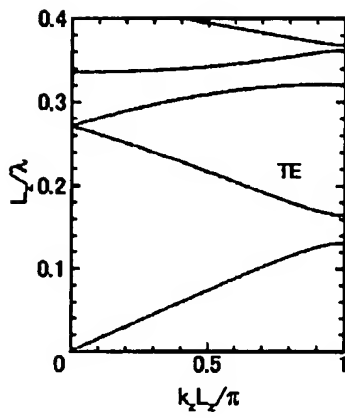
【図4】



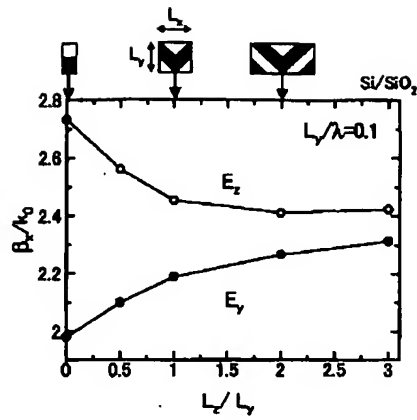
【図10】



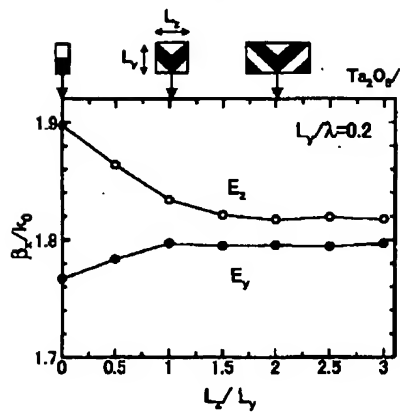
【図6】



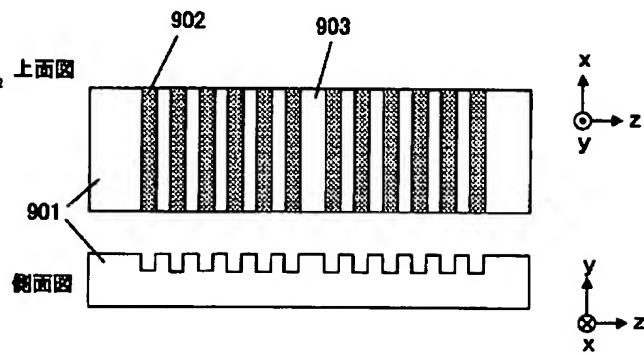
【図7】



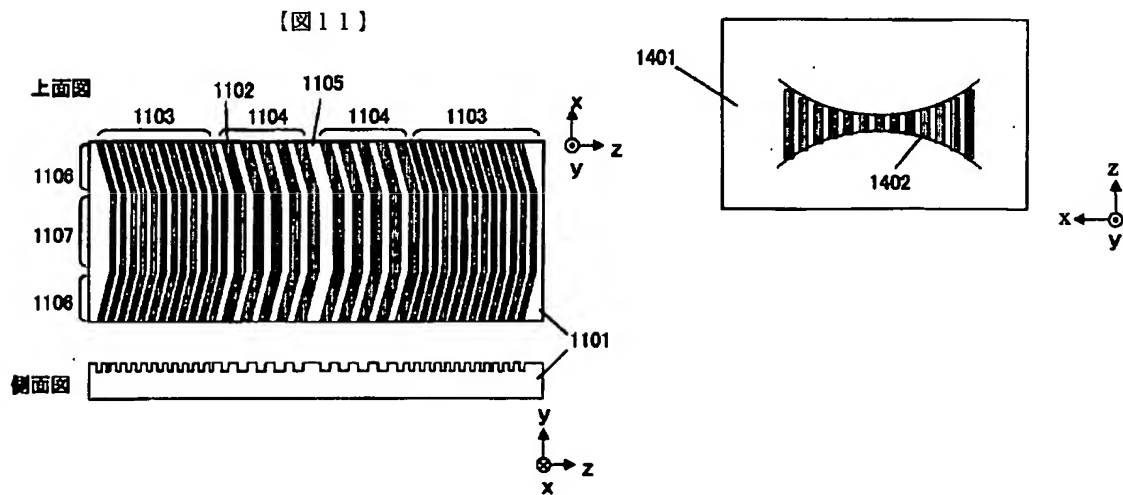
【図8】



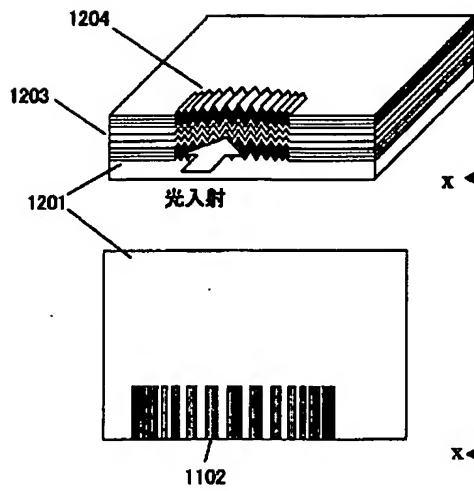
【図9】



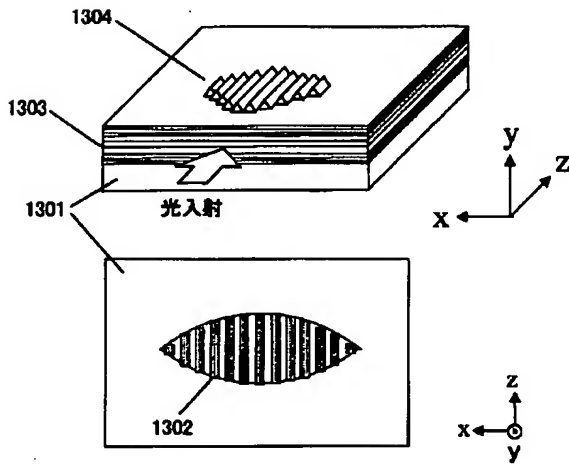
【図14】



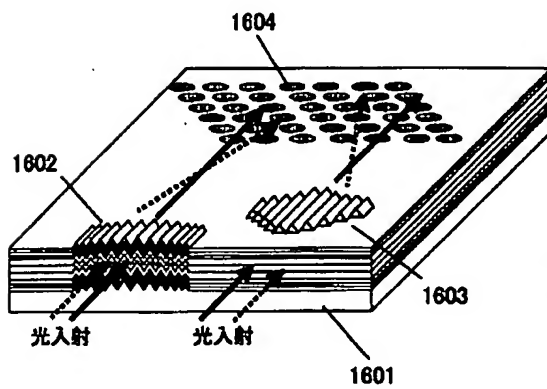
【図12】



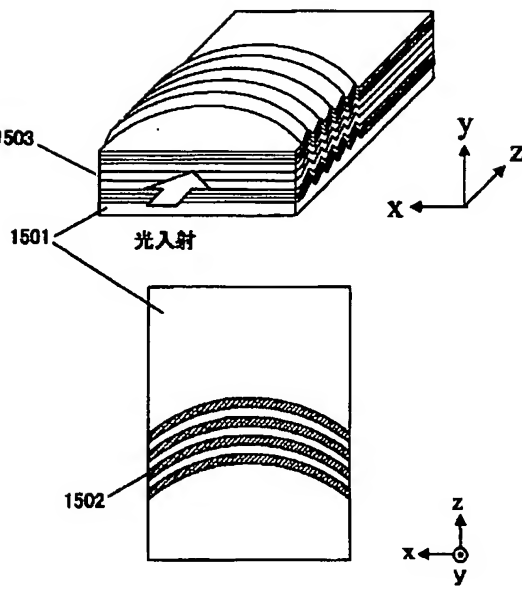
【図13】



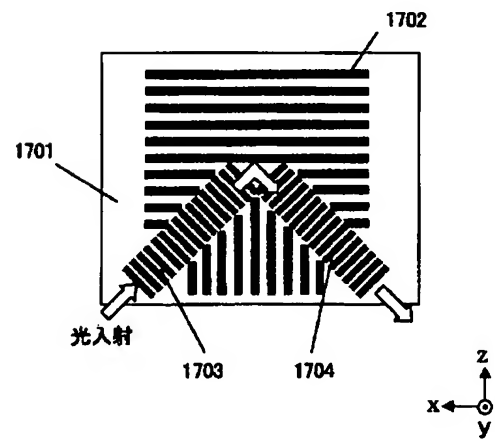
【図16】



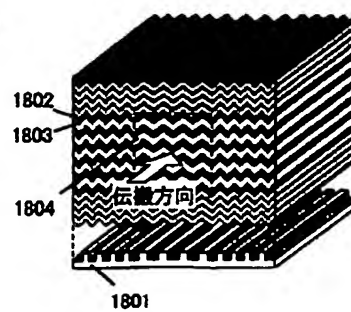
【図15】



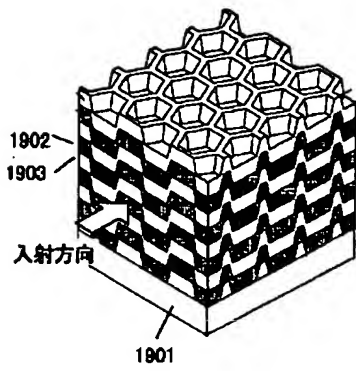
【図17】



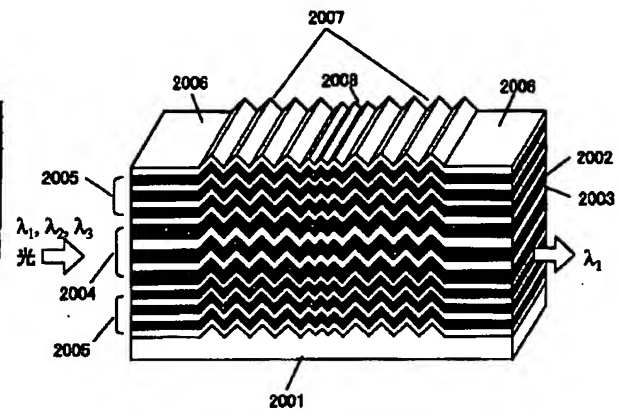
【図18】



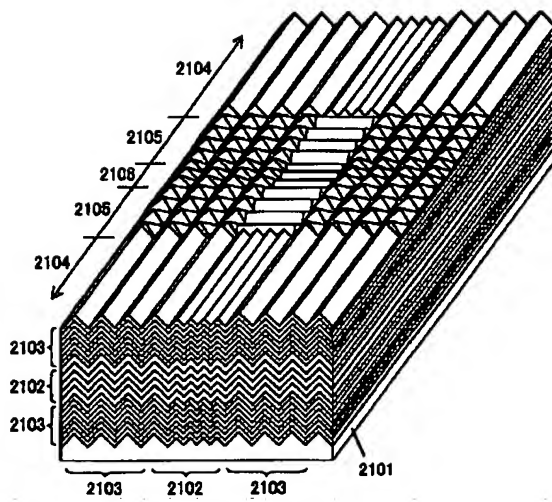
【図19】



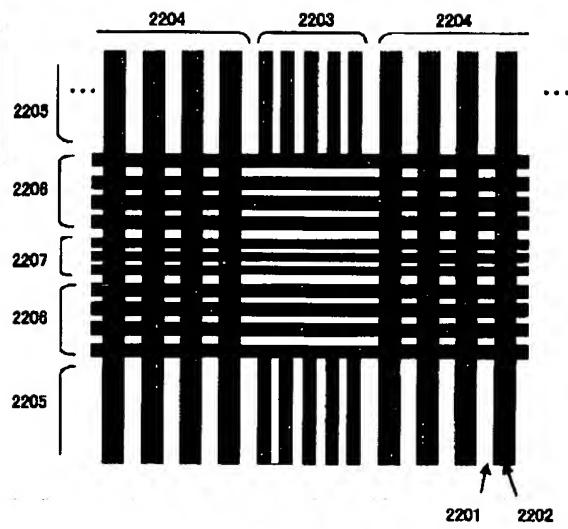
【図20】



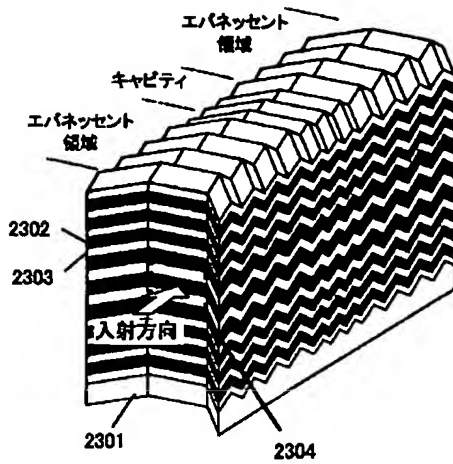
【図21】



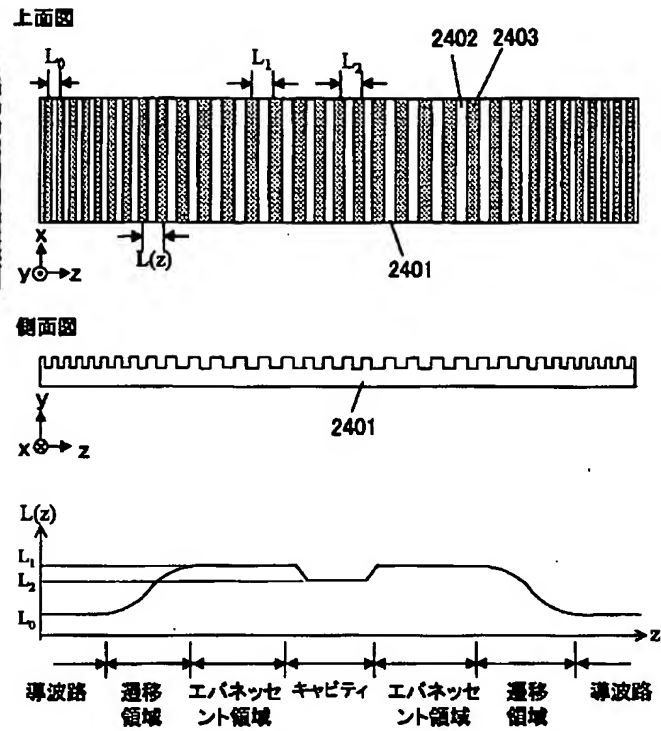
【図22】



【図23】



【図24】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2H047 KA02 LA07 LA09 PA04 PA22
QA01 QA02 QA04 TA35 TA43
2H048 GA04 GA13 GA24 GA34 GA52
GA62

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.